



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 41 197 A 1**

⑤ Int. Cl.7:
E 21 B 44/00
E 21 B 7/02

⑳ Aktenzeichen: 199 41 197.2
㉔ Anmeldetag: 30. 8. 1999
㉓ Offenlegungstag: 6. 4. 2000

DE 199 41 197 A 1

⑥⑥ Innere Priorität:
198 43 639. 4 23. 09. 1998

⑦① Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:
Gagel, R., Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,
81241 München

⑦② Erfinder:
Jacubasch, Andreas, Dipl.-Ing., 76131 Karlsruhe,
DE; Kuntze, Helge-Björn, Dr., 76297 Stutensee, DE;
Bayer, Hans-Joachim, Dr., 76275 Ettlingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑥④ Steuerung für ein Horizontalbohrgerät

⑥⑦ Die vorliegende Erfindung betrifft eine Steuerung für ein Horizontalbohrgerät, das eine Bohrlanze über ein Bohrgestänge antreibt. Die Steuerung ist mit einer Eingangsschnittstelle zum Empfangen von Ist-Werten von Regelgrößen des Horizontalbohrgerätes und einer Ausgabeeinheit zum Ausgeben von Steuersignalen zur Ansteuerung des Horizontalbohrgerätes ausgestattet. Zwischen der Eingangsschnittstelle und der Ausgabeeinheit ist ein Fuzzy-Regler vorgesehen, der aus den Ist-Werten der Regelgrößen und Soll-Werten für die Regelgrößen unter Berücksichtigung heuristischer Verfahrenswerte mittels Fuzzy-Logik die Steuersignale zur Ansteuerung des Horizontalbohrgerätes bestimmt. Die vorgestellte Steuerung ermöglicht den automatischen Betrieb des Horizontalbohrgerätes mit guter Kursführung und hoher Zielgenauigkeit.

DE 199 41 197 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Steuerung für ein Horizontalbohrgerät gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie ein Verfahren zur Steuerung eines derartigen Horizontalbohrgerätes.

Bei Anwendung konventioneller Tiefbautechnik ist die Neuverlegung von Rohren für Gase, Flüssigkeiten oder elektrische Leitungen mit erheblichen Kosten und Umweltbelastungen verbunden. Dies betrifft vor allem eine Trassenführung, die unter Straßen, Flüssen oder Gebäuden verlaufen soll. Die hohen Kosten resultieren sowohl aus den Primärkosten der erforderlichen Baumaßnahmen als auch aus den Folgekosten, verursacht durch Verkehrsstörungen oder sonstige Beeinträchtigungen des betroffenen Umfeldes. Durch grabenlose Verlegungstechniken lassen sich solche Kosten und Umweltbelastungen deutlich reduzieren. Hierfür werden unterschiedliche Bohrtechniken eingesetzt, mit denen die Öffnung des Erdreichs an der Oberfläche vermieden werden kann.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich hierbei auf Horizontalbohrverfahren, wie sie beispielsweise aus H. J. Bayer, "Prinzipien des steuerbaren Horizontal-Spülbohrverfahrens", 3R international, Vol. 30 (1991), Nr. 9, S. 511-517, bekannt sind. Bei diesen Horizontalbohrverfahren wird ein zylindrischer hohler Bohrkopf, aus dem über Düsen eine Spülflüssigkeit wie beispielsweise Bentonit gepumpt wird, mit Hilfe eines stückweise verschraubten Bohrgestänges schräg in den Boden gedrückt. Durch eine Anschrägung des Bohrkopfes ist dieser nicht nur hinsichtlich der Vorschubgeschwindigkeit bzw. der Schubkraft steuerbar, sondern auch hinsichtlich seiner Bewegungsrichtung. Bei gleichmäßiger Rotation bewegt sich der Bohrkopf annähernd geradeaus. Wird der Bohrkopf während der Vorschubbewegung nicht gedreht, so bewegt er sich auf einer Kurvenbahn, deren Orientierung durch die Lage der Anschrägung vorgegeben ist. Durch diese Ausgestaltung ist die Steuerbarkeit des Bohrkopfes in jede Richtung gewährleistet. Je weiter sich der Bohrkopf von der hydraulischen Steuereinheit der Bohranlage entfernt, um so stärker wirken sich Spiel und Elastizität des Bohrgestänges auf das Systemverhalten hinsichtlich Genauigkeit und Stabilität negativ aus.

Bei den bekannten Horizontalbohrgeräten des Standes der Technik wird der Bohrkopf bzw. die Bohrlanze über die Vortriebsgeschwindigkeit und die Rotation des Bohrgestänges von einer Person, dem Bohrführer, gesteuert. Der Bohrführer erhält seine Information über die aktuelle Position und Lage des Bohrkopfes von entsprechenden Meßsensoren am Bohrkopf. Horizontalbohrgeräte verfügen hierzu über eine robuste hochauflösende Sensorik, die ständig die Orientierung des Bohrkopfes bezüglich eines ortsfesten Koordinatensystems durch Messung von Rollwinkel, Azimut und Inklination des Bohrkopfes mißt. Aus der aktuellen Länge des Bohrgestängesstranges läßt sich in Verbindung mit den vorangegangenen Winkeländerungen des Bohrkopfes auch die jeweilige aktuelle kartesische Position des Bohrkopfes bestimmen. Neben der Position und Orientierung des Bohrkopfes können auch das Lastmoment des Bohrgestänges sowie der Druck einer eingespülten Bohrflüssigkeit über Sensoren erfaßt werden.

Das Bewegungsverhalten des Bohrkopfes ist sehr komplex und hängt stark von der momentanen Umgebung des Bohrkopfes, insbesondere der Konsistenz, dem Gefügeaufbau und dem Verdichtungsgrad des Bodenmaterials ab. Aufgrund dieser Komplexität erfordert eine hohe Bohrgüte vom Bohrführer ein hohes Maß an Geschicklichkeit. Unter Bohrgüte ist hierbei die möglichst genaue Einhaltung des vorgegebenen Bohrkurses unter Vermeidung von Kollisionen zu

verstehen. Der Bohrführer muß hierbei aus den jeweiligen von den Sensoren übermittelten aktuellen Orientierungs- und Positionswerten bei Bedarf eine Korrektur der Vorschubgeschwindigkeit, der Rotation oder des Drehwinkels ableiten, und bei seinen Korrekturen das jeweilige momentane Verhalten des Bohrkopfes berücksichtigen. Die korrekte Bedienung eines derartigen Horizontalbohrgerätes erfordert daher langes Training und viel Erfahrung hinsichtlich des unterschiedlichen Untergrundverhaltens des Bohrgestänges. Die Qualität der Bohrung ist somit in starkem Maße von der jeweils als Bohrführer eingesetzten Person abhängig und unterliegt darüber hinaus ermüdungsabhängigen Schwankungen. Es besteht daher ein zunehmender Bedarf für eine Automatisierung des Steuerungsprozesses eines Horizontalbohrgerätes.

Bisher war es jedoch aufgrund der hohen Komplexität des Bohrvorgangs nicht möglich, geeignete Steuerungsalgorithmen für eine Steuerung eines derartigen Horizontalbohrgerätes zu finden.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Steuerung für ein Horizontalbohrgerät sowie ein Verfahren zur Steuerung des Horizontalbohrgerätes anzugeben, die ohne das Eingreifen eines erfahrenen Bohrführers den Bohrkopf automatisch möglichst genau auf einem vorprogrammierten Kurs hält und den Zielpunkt unabhängig von Schwankungen der Bodenkonsistenz möglichst genau erreicht. Der Bohrvorgang soll weiterhin möglichst wenig Zeit in Anspruch nehmen.

Die Aufgabe wird mit der Steuerung nach Anspruch 1 bzw. mit dem Verfahren nach Anspruch 10 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Steuerung und des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die erfindungsgemäße Steuerung für das Horizontalbohrgerät weist zunächst eine Eingangsschnittstelle zum Empfangen von Ist-Werten von Regelgrößen des Horizontalbohrgerätes auf. Derartige Regelgrößen können beispielsweise Rollwinkel, Inklination und Azimut des Bohrkopfes sowie die aus diesen Größen und dem Vortrieb ermittelte aktuelle Position des Bohrkopfes sein. Weiterhin ist eine Ausgabeinheit vorgesehen, die die Steuersignale zur Ansteuerung des Horizontalbohrgerätes ausgibt. Zwischen der Eingangsschnittstelle und der Ausgabeinheit befindet sich ein Fuzzy-Regler, der die Steuersignale aus den Ist-Werten und den Soll-Werten für die Regelgrößen unter Berücksichtigung heuristischer Verfahrenswerte mittels Fuzzy-Logik bestimmt. Die heuristischen Verfahrenswerte beruhen beispielsweise auf den Erfahrungen eines langjährigen Bohrführers und beinhalten eine ingenieurmäßige Beschreibung des Bewegungsverhaltens des Bohrkopfes durch unscharfe "wenn-dann"-Relationen zur Verknüpfung der Ist- und Soll-Werte mit entsprechenden Steuersignalen. Hierdurch ist es möglich, langjährig gesammeltes Know-how bei der manuellen Steuerung von Bohrköpfen in eine automatische Steuerung umzusetzen. Dies ist gerade im vorliegenden Fall der Steuerung von Horizontalbohrgeräten von Vorteil, da sich das Verhalten des Bohrkopfes aufgrund der vielfältigen Einflußmöglichkeiten weitgehend einer physikalisch-analytischen Beschreibung durch dynamische Modelle entzieht.

Die Ist-Werte der Regelgrößen werden durch Sensoren gemessen, die am Bohrkopf bzw. der Bohrlanze angebracht sind. Weitere Sensoren können beispielsweise am Bohrgestänge zur Ermittlung des Vortriebes und des Drehwinkels oder der Rotationsgeschwindigkeit des Gestänges vorgesehen sein.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die Ist-Werte der Regelgrößen des Horizontalbohrgerätes gemessen, aus den Ist-Werten und Soll-Werten für die Regelgrößen unter Berücksichtigung heuristischer Verfahrenswerte

mittels Fuzzy-Logik Steuersignale zur Ansteuerung des Horizontalbohrgerätes bestimmt, und das Horizontalbohrgerät mit den Steuersignalen angesteuert.

Die erfindungsgemäße Steuerung für ein Horizontalbohrgerät und das Verfahren zur Steuerung des Horizontalbohrgerätes ermöglichen die automatische Durchführung des Bohrvorganges mit einer hohen Zielgenauigkeit. Der Bohrkopf kann durch die Steuerung sehr eng und unabhängig von Schwankungen in den Bodeneigenschaften auf einem vorprogrammierten Kurs gehalten werden. Die Steuerung ermöglicht somit das Durchführen des Bohrvorganges unabhängig vom Einsatz eines erfahrenen Bohrführers. Ermüdungsbedingte Schwankungen in der Bohrgeschwindigkeit und der Bohrgenauigkeit entfallen damit, so daß der Bohrvorgang in kürzerer Zeit abgeschlossen werden kann.

Die Leistungsfähigkeit der erfindungsgemäßen Steuerung konnte bei Versuchsbohrungen bereits unter Beweis gestellt werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Steuerung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nicht, wie bei anderen Fuzzy-Regelungskonzepten, der Ist-Wert selbst der Fuzzy-Regelung unterworfen, sondern die Differenz aus Ist-Wert und Soll-Wert.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird ein Optimierungswerkzeug eingesetzt, das auf einem neuronalen Netz (NN) basiert. Bei diesem Ansatz wird dem optimierenden Fuzzy-Regler eine NN-Lernkomponente zur Seite gestellt. Diese besteht aus einem adaptionsfähigen NN-Modell des Fuzzy-Reglers sowie einem NN-Modell der Regelstrecke. In einer dem Automatikbetrieb vorangehenden Trainingsphase wird nun das NN-Reglermodell mit repräsentativen Trainings trajektorien, beispielsweise mit der Soll-Trajektorie, so lange trainiert, bis die Modell-Ist-Trajektorie bezüglich eines wählbaren Güteindex nicht mehr verbessert werden kann. Die optimierten Fuzzy-Parameter werden nun in die Regler-Hardware geladen. Anschließend kann der Automatikbetrieb, das heißt die automatische Steuerung des Horizontalbohrgerätes, beginnen.

Die Steuerung für das Horizontalbohrgerät wird vorzugsweise durch einen digitalen Signalprozessor (DSP) realisiert, in den der Fuzzy-Regler implementiert ist. Dieser DSP ist vorzugsweise an einen PC gekoppelt, über den etwaige Parameter eingegeben werden können.

Die Steuerung für das Horizontalbohrgerät sowie das Verfahren zur Steuerung des Gerätes werden nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels ohne Einschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens nochmals erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung zur Kursregelung eines Horizontalbohrgerätes mit den zugehörigen Steuer- und Zustandsgrößen;

Fig. 2 die räumliche Darstellung des Steuerungsraums einer Bohrlanze in Abhängigkeit vom Rollwinkel; und

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Beispiels für die Komponenten einer Steuerung eines Horizontalbohrgerätes.

Im vorliegenden Beispiel wird die Steuerung für ein in Fig. 1 gezeigtes Horizontalbohrsystem erläutert. Das Horizontalbohrsystem besteht aus einer Bohrlanze 1 mit einem Navigationssensor sowie einem Bohrgestänge 2, an dem die Bohrlanze befestigt ist. Das Bohrgestänge über ein sogenanntes Rig 3 angetrieben. Bezugszeichen 4 gibt den Bodenbereich an, in dem die Bohrung vorgenommen werden soll. Das Horizontalbohrsystem wird über die Fuzzy-Kursregelung 7 mit Unterstützung einer zusätzlichen Servoregelung 6 angesteuert.

Das in diesem Beispiel eingesetzte Horizontalbohrgerät ist mit einem Rig ausgestattet, das eine Zugkraft von 120 kN

auf die Vortriebsachse 5 ausübt. Beim Bohrvortrieb wird das Bohrgestänge 2 mit der Bohrlanze 1 an der Spitze mit Hilfe des Rigs gesteuert. Das Bohrgestänge 2 kann dabei zum einen rotatorisch um seine Längsachse gedreht und zum anderen translatorisch vorgeschoben werden. Diese beiden Freiheitsgrade sind unabhängig voneinander steuerbar und erlauben eine gezielte Steuerung des Bohrvortriebs entlang einer festgelegten Solltrasse.

Die Bohrlanze 1 weist im vorliegenden Beispiel eine asymmetrisch geformte Bohrspitze auf, die wie ein asymmetrischer Keil aufgebaut ist. Hierdurch kann der Bohrverlauf gezielt beeinflusst werden. Weiterhin können die Austrittsdüsen für die Bohrflüssigkeit, beispielsweise Bentonit, asymmetrisch an der Bohrlanze angeordnet sein, so daß eine unsymmetrische Lösung des Bodens unmittelbar vor der Bohrlanze ermöglicht wird.

Das Horizontalbohrgerät mit dieser Ausstattung hat, wenn keine sonstigen schwerwiegenden Störeinflüsse des Bodens hinzukommen, zwei Steuermodi. Der Bohrvortrieb läuft annähernd geradlinig, wenn das Bohrgestänge rotierend vorgeschoben wird. Wird das Bohrgestänge nur vorgezogen ohne zu rotieren, so verläuft der Bohrvortrieb annähernd kreisförmig. Die momentane Kreisbahn des Bohrverlaufs hängt in erster Näherung nur von dem eingestellten feststehenden Rollwinkel der Bohrlanze 1 ab, der eine sehr wichtige Prozeßgröße darstellt. Der Steuerungsraum der Bohrlanze ist in Fig. 2 für alle möglichen Rollwinkel räumlich dargestellt. Mathematisch ergibt sich hierbei ein Torus mit einem Innenradius von annähernd 0 und einem Außenradius der in der Größenordnung von 10 bis 160 m liegt. Dieser Außenradius ist abhängig von den bodenphysikalischen Parametern, dem Material des Bohrgestänges, der mechanischen Form der Bohrlanze sowie den eingestellten Bohrprozeßparametern am Horizontalbohrgerät.

Das Rotieren und Vortreiben des Bohrgestänges 2 erfolgt mit Hilfe von Hydraulikzylindern für den Vortrieb und einem Hydraulikmotor für die Rotation. Der Ölfluß für die Hydraulik wird mit einer zentralen Druckpumpe erzeugt. Der Ölfluß für die einzelnen Hydraulikkreise wird über Proportionalventile mit elektrischer Ansteuerungselektronik mittels mechanischer Hebel elektrisch fernbedient. Die Proportionalventile haben die Eigenschaft, daß sie den Ölfluß unabhängig von angreifenden Störkräften einprägen und somit für den entsprechenden Hydraulikkreis die Geschwindigkeit proportional zu der Ventilstellung einstellen. Entsprechendes gilt für den Durchfluß der Bohrflüssigkeit der mittels eines Hydraulikmotors und eines Pumpenmotors eingestellt wird. Die Bohrspülflüssigkeit wird über einen VersorgungslKW zur Verfügung gestellt. Die Aktoren des Systems sind drei unabhängig voneinander einstellbare hydraulische Proportionalventile, die sowohl manuell als auch elektrisch (über elektromagnetische Komponenten) gestellt werden können. Die Ansteuerung der Ventile erfolgt im vorliegenden Beispiel über eine analoge Interfacekarte in der Steuerung. Die Hydraulikventile lassen sich auch manuell bedienen.

Die Überwachung und Messung der verschiedenen Systemzustände erfolgt mit unterschiedlichen Sensoren. So ist ein Navigationssensor mit einer Länge von ca. 3 m und einem Gewicht von ca. 50–100 kg an der Bohrlanze montiert, der die drei Winkelwerte φ_{xL} (Rollwinkel der Lanze), φ_{yL} (Azimutwinkel der Lanze) und φ_{zL} (Inklinationswinkel der Lanze) in einem festen Weltkoordinatensystem (x_L , y_L , z_L) liefert. Aus diesen drei Winkelwerten läßt sich über den ebenfalls gemessenen Vortrieb der dreidimensionale Kursverlauf der Bohrlanze in x-, y-, z-Weltkoordinaten berechnen. Weiterhin sind zwei Winkelkodierer zur Erfassung der Position des Vortriebs (x_1) und des Rollwinkels (φ_{x1}) auf

dem Rig vorgesehen. Mittels dreier Drucksensoren werden die Hydraulikdrücke für den Vortrieb und die Rotation sowie der Bentonitdruck für Bohrspülflüssigkeit erfaßt. Ein Drehzahlmesser (Frequenzmessung) dient der Messung der Drehgeschwindigkeit des Bentonit-Hydraulik-Motors.

Aus Fig. 1 sind weitere physikalische Meßgrößen ersichtlich, die gegebenenfalls erfaßt und in die Regelung einbezogen werden können. Dies betrifft insbesondere die Einstellung der Bentonit/Durchflußmenge Q_B und des Druckes der Bentonit/Wassersuspension P_B . Weiterhin kann das Drehmoment M_{x1} des Bohrgestänges erfaßt werden.

Bevorzugte Steuergrößen sind der translatorische Weg des Schubzylinders (x_1), die Winkelstellung des Drehmotors für das Bohrgestänge (φ_{x1}) sowie der Volumenstrom der Bentonit/Wassersuspension (Q_B).

Ein Beispiel für die Struktur der Steuerung des vorgestellten Horizontalbohrgerätes zur automatischen Kursregelung des Bohrverlaufs ist in Fig. 3 dargestellt. Das Fuzzy-Regelungskonzept wird auf einem PC 8 in Verbindung mit einem schnellen Signalprozessor 10 implementiert, der sensor- und steuerungseitig mit dem Horizontalbohrgerät gekoppelt ist. Zur Kopplung wird eine hard- und softwaremäßige Schnittstellenanpassung geschaffen. Die Steuerung umfaßt somit einen Standard-PC 8 mit der passenden Software zum Bedienen und Beobachten des Bohrprozesses. Kern der Steuerung ist ein digitales Signalprozessorsystem (DSP) 10, welches durch einen PC-Bus 9 mit dem PC 8 verbunden ist. Der DSP 10 übernimmt die Regelung des Bohrvorgangs. Ein Hardware-Interface 11 mit Verbindungskabel und Verteilerkasten zwischen PC 8 und dem Horizontalbohrsystem 12 dient dem bidirektionalen Datenaustausch zwischen der digitalen Steuerung und dem Horizontalbohrsystem. Weiterhin umfaßt die Steuerung einen D/A-Wandler 13, einen A/D-Wandler 14 sowie eine Zählerkarte 15. Über das Hardware-Interface 11 werden die eingangs dargestellten Aktoren, das heißt die hydraulischen Proportionalventile zur Steuerung der Lanzen-Vorschubgeschwindigkeit, des Lanzen-Rollwinkels und des Bentonitdurchflusses angesteuert. Hierbei ist zusätzlich eine Servoregelung vorgesehen.

Patentansprüche

1. Steuerung für ein Horizontalbohrgerät, das eine Bohrlanze über ein Bohrgestänge antreibt, mit einer Eingangsschnittstelle zum Empfangen von Istwerten von Regelgrößen des Horizontalbohrgerätes, und einer Ausgabeeinheit zum Ausgeben von Steuersignalen zur Ansteuerung des Horizontalbohrgerätes, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen Eingangsschnittstelle und Ausgabeeinheit ein Fuzzy-Regler vorgesehen ist, der aus den Istwerten der Regelgrößen und Sollwerten für die Regelgrößen unter Berücksichtigung heuristischer Verfahrenswerte mittels Fuzzy-Logik die Steuersignale zur Ansteuerung des Horizontalbohrgerätes bestimmt.
2. Steuerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Fuzzy-Regler die Differenz zwischen Soll- und Ist-Werten einer Fuzzy-Regelung unterwirft, und daraus die Steuersignale bestimmt.
3. Steuerung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgrößen die Orientierung und/oder die Position der Bohrlanze umfassen.
4. Steuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgrößen die Vorschubgeschwindigkeit und/oder das Drehmoment des Bohrgestänges umfassen.
5. Steuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgrößen den Volumendurchfluß und/oder den Druck einer zur Bohrlanze

geführten Bohrflüssigkeit umfassen.

6. Steuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß für den Fuzzy-Regler ein Optimierungswerkzeug unter Verwendung eines neuronalen Netzes vorgesehen ist.

7. Steuerung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Optimierungswerkzeug eine Software für eine Trainingsphase des Fuzzy-Reglers enthält.

8. Steuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sollwertgeber vorgesehen ist, der dynamische Sollwerte über den zeitlichen Verlauf des Bohrvorgangs vorgibt.

9. Steuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Fuzzy-Regler in einen digitalen Signalprozessor implementiert ist.

10. Verfahren zur Steuerung eines Horizontalbohrgerätes, das eine Bohrlanze über ein Bohrgestänge antreibt, bei dem

- Istwerte von Regelgrößen des Horizontalbohrgerätes gemessen werden,
- aus den Istwerten der Regelgrößen und Sollwerten für die Regelgrößen unter Berücksichtigung heuristischer Verfahrenswerte mittels Fuzzy-Logik Steuersignale zur Ansteuerung des Horizontalbohrgerätes bestimmt werden, und
- das Horizontalbohrgerät mit den Steuersignalen angesteuert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz zwischen Soll- und Ist-Werten einer Fuzzy-Regelung unterworfen, und daraus die Steuersignale bestimmt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgrößen die Orientierung und/oder die Position der Bohrlanze umfassen.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgrößen die Vorschubgeschwindigkeit und/oder das Drehmoment des Bohrgestänges umfassen.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgrößen den Volumendurchfluß und/oder den Druck einer zur Bohrlanze geführten Bohrflüssigkeit umfassen.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Fuzzy-Regler vor der erstmaligen Ansteuerung des Horizontalbohrgerätes unter Verwendung eines Modells eines neuronalen Netzes optimiert wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß als Sollwerte dynamische Sollwerte über den zeitlichen Verlauf des Bohrvorgangs vorgegeben werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß mit den Steuersignalen der Vortrieb und/oder die Rotation des Bohrgestänges und/oder der Durchfluß einer eingespülten Bohrflüssigkeit gesteuert werden.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

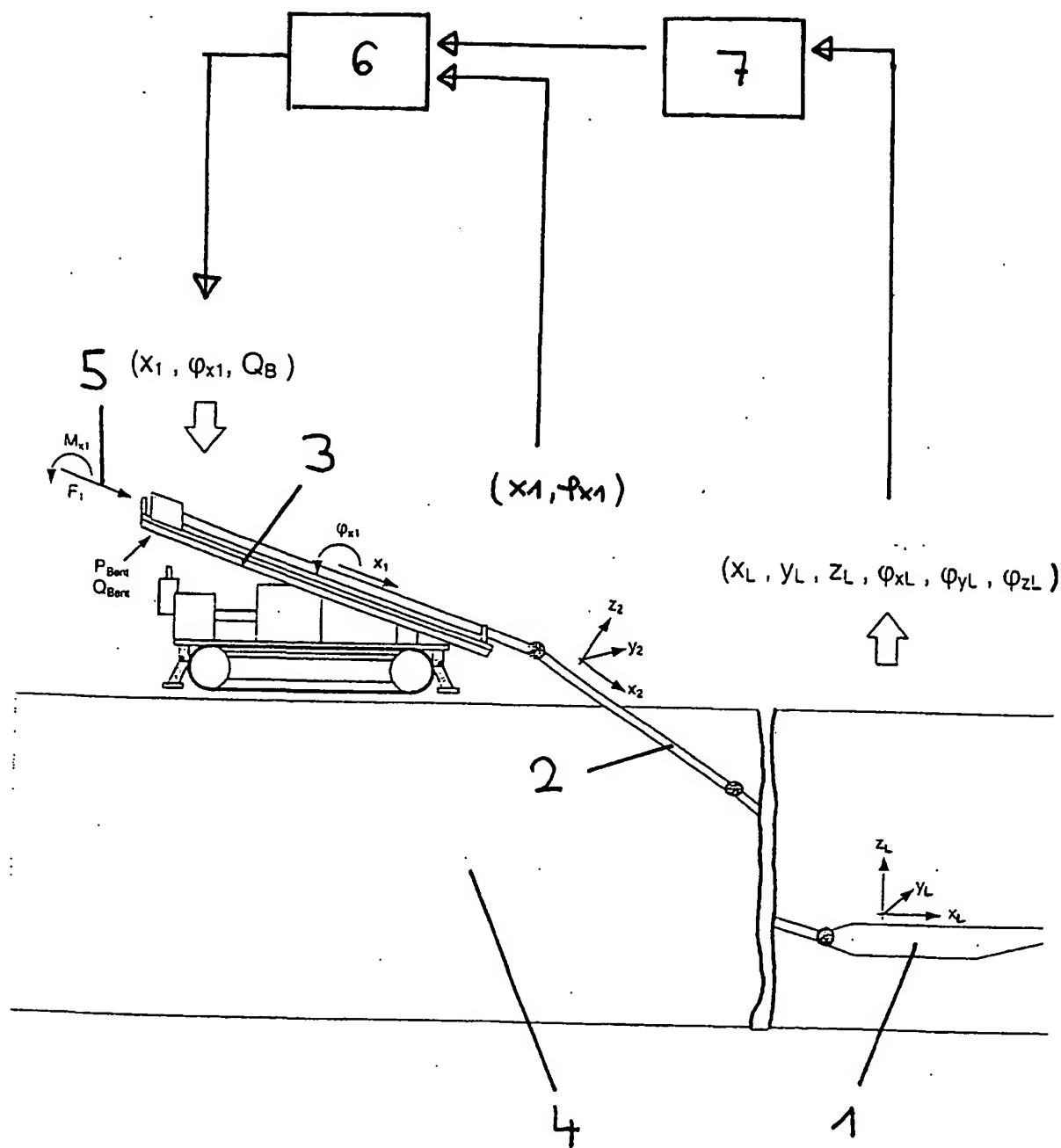


Fig. 1

and warnings (visual and/or audio) can be broadcast when a weak and dangerous layer is detected. Moreover, data regarding unsafe or dangerous conditions can be transmitted to the operator located at a safe distance and/or within a protective structure.

5 The feasibility of using a drill monitoring system to estimate the strength of successive layers of roof rock during the actual drilling has been demonstrated. This system provides near real-time results which allows increased safety in placement and installation of roof bolts in underground mining. The present system should be applicable in all underground mines.

10 The technology could also be extended to other rotary drilling applications, such as drilling holes for blasting in mining and construction, since rock strength is an important consideration in efficient blasting. The application of neural network technology to strength classification of the material being drilled and estimating the strength index class as the material is being drilled
15 (i.e., in near real-time) is a significant advance in mine technology safety.

 All references cited herein are hereby incorporated by reference.

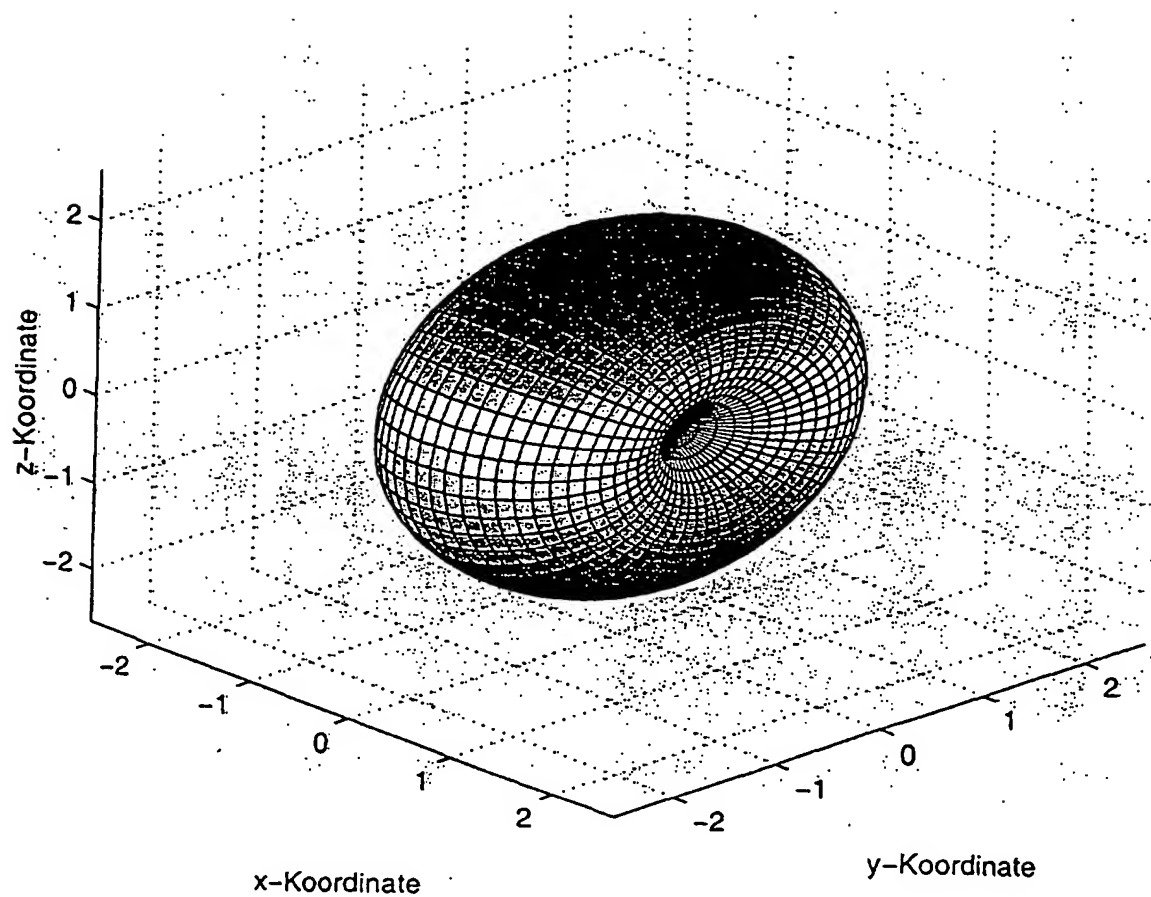


Fig. 2

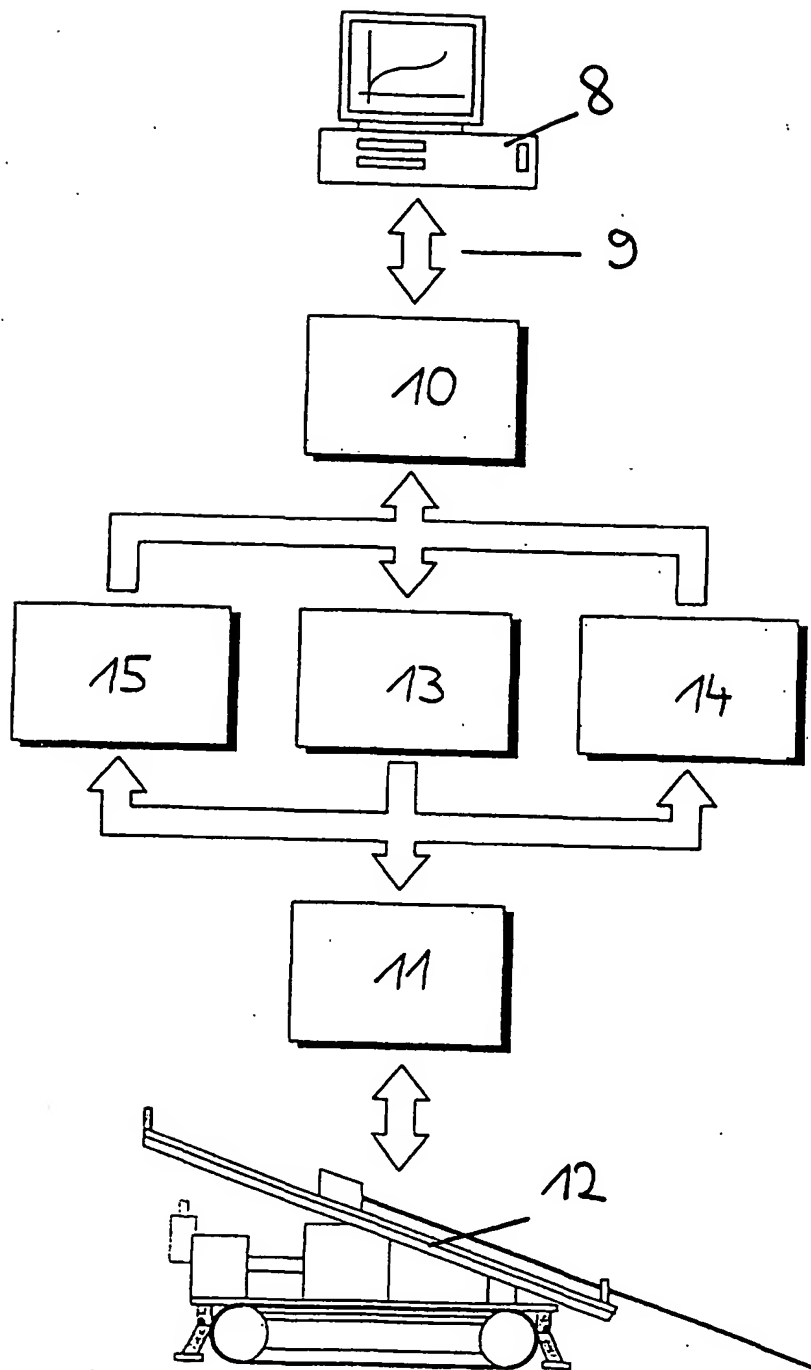


Fig. 3